

PEMODELAN DAERAH TANGKAPAN AIR WADUK KELILING DENGAN MODEL SWAT

Keliling Reservoir Catchment Area Modeling Using SWAT Model

Teuku Ferijal, Siti Mechram, Dewi Sri Jayanti, Purwana Satriyo

Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Aceh 23111

Email : t.ferijal@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan daerah tangkapan air Waduk Keliling dengan menggunakan Model SWAT. Waduk Keliling terletak di Kabupaten Aceh Besar, Propinsi Aceh. Dalam penelitian ini Model SWAT dikembangkan berdasarkan data digital elevasi model resolusi 90 m x 90 m, tata guna lahan yang diperoleh dari interpretasi citra satelit dan data soil dari hasil analisa sampel tanah yang diperoleh di daerah penelitian. Model dikalibrasi dengan data volume waduk dan kinerja model dianalisa menggunakan parameter rasio akar rata-rata kuadrat error dan standard deviasi observasi (RSR), efisiensi Nash-Sutcliffe (NSE) dan persentase bias (PBIAS). Hasil deleniasi untuk daerah penelitian menghasilkan suatu DAS dengan luas 3,448 Ha dan memiliki 13 Sub DAS yang dikelompokkan menjadi 76 unit lahan. Sebagian besar wilayah study ditutupi oleh hutan (53%), dan pandang rumput (31%). Hasil analisa menunjukkan bahwa 10 parameter model yang sangat mempengaruhi debit adalah GW_DELAY, CN2, REVAPMN, ALPHA_BF, SOL_AWC, GW_REVAP, GWQMN, CH_K2 dan ESCO. Kinerja model sangat baik dalam memprediksikan volume tampungan waduk bulanan dengan nilai ENS 0,95, RSR 0,23, dan PBIAS 2,97. Namun, kinerja model menurun ketika mensimulasikan debit *inflow* harian dengan nilai-nilai ENS 0,55, RSR 0,67, dan PBIAS 3,46.

Kata kunci: Waduk Keliling, SWAT, Daerah Tangkapan Air

ABSTRACT

This study aimed to model watershed area of Keliling Reservoir using SWAT model. The reservoir is located in Aceh Besar District, Province of Aceh. The model was setup using 90m x 90m digital elevation model, land use data extracted from remote sensing data and soil characteristic obtained from laboratory analysis on soil samples. Model was calibrated using observed daily reservoir volume and the model performance was analyzed using RMSE-observations standard deviation ratio (RSR), Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) and percent bias (PBIAS). The model delineated the study area into 3,448 Ha having 13 subwatersheds and 76 land units (HRUs). The watershed is mostly covered by forest (53%) and grassland (31%). The analysis revealed the 10 most sensitive parameters i.e. GW_DELAY, CN2, REVAPMN, ALPHA_BF, SOL_AWC, GW_REVAP, GWQMN, CH_K2 and ESCO. Model performances were categorized into very good for monthly reservoir volume with ENS 0.95, RSR 0.23, and PBIAS 2.97. The model performance decreased when it used to analyze daily reservoir inflow with ENS 0.55, RSR 0.67, and PBIAS 3.46.

Keywords: Keliling Reservoir, SWAT, Watershed

PENDAHULUAN

Waduk Keliling merupakan waduk terbesar yang pernah dibangun oleh Pemerintah Aceh sebagai salah satu bentuk tindakan antisipatif untuk memenuhi kebutuhan air di Kabupaten Aceh Besar dan Kota Banda Aceh di masa mendatang. Waduk yang terletak ±35 km dari pusat kota Banda Aceh ini dibangun pada aliran sungai kecil bernama

Alue Keliling. Dengan luas daerah tangkapan 38.2 km², maka waduk ini diperkirakan akan mampu menampung air sebanyak 18 juta m³, yang tentunya akan digunakan untuk memenuhi kebutuhan air baku dan juga irigasi. Fungsi Waduk Keliling semakin penting dengan adanya perubahan iklim global, dimana telah terjadinya perubahan terhadap faktor-faktor iklim terutama curah hujan. Perubahan faktor-faktor iklim tersebut harus diimbangi dengan tindakan

pengelolaan daerah tangkapan air yang tepat sehingga fungsi hidrologis daerah tangkapan air tidak mengalami penurunan. Untuk dapat membuat suatu perencanaan pengelolaan yang efektif dan tepat sasaran diperlukan alat (*tool*) yang dapat mengintegrasikan berbagai data sumberdaya lahan. Salah satu alat yang digunakan adalah dengan menggunakan model hidrologi.

Pemilihan jenis model hidrologi dalam pemodelan daerah tangkapan air waduk sangat tergantung pada sasaran akhir yang ingin dicapai. Pemodelan perubahan tampungan suatu genangan telah diterapkan oleh Tanakamaru dkk.(2004) menggunakan pendekatan neraca air untuk mensimulasikan elevasi muka air Danau Toba. Model yang digunakan dalam penelitian tersebut tidak dapat menjelaskan karakteristik fisik daerah tangkapan air (DTA) dengan baik, sehingga kurang sesuai digunakan sebagai dasar perencanaan dan pengelolaan. Model SWAT merupakan salah satu model fisik yang paling sering diaplikasikan sebagai dasar perencanaan dan pengelolaan DTA. Gassman dkk. (2007) mereview lebih dari 250 artikel terkait penerapan model SWAT di seluruh belahan dunia, secara umum pemakaian model ini didasarkan pada kebutuhan untuk memahami kerentanan sumberdaya air terhadap perubahan-perubahan lingkungan yang terjadi. Secara khusus model SWAT juga telah digunakan dalam merencanakan dan mengevaluasi suatu DTA waduk (Kalogeropoulos dkk., 2011; Setegn dkk., 2008; Tolson dan Shoemaker, 2007)

Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan daerah tangkapan air Waduk Keliling menggunakan Model SWAT. Model SWAT memiliki potensi sebagai suatu alat yang dapat membantu untuk menganalisa dampak operasional dan pengelolaan sumberdaya air dan lahan. Model ini tergolong ke dalam model fisik karena mampu merepresentasikan keunikan suatu DTA, seperti tata guna lahan, jenis tanah dan topografi, ke dalam parameter-parameter model.

METODE PENELITIAN

Model SWAT

SWAT pertama sekali dikembangkan oleh Departemen Pertanian dan Penelitian Amerika (United States Department of Agriculture – Agricultural Research Service) untuk memprediksi dampak manajemen lahan terhadap hidrologi, sedimentasi dan bahan kimia terlarut pada suatu DAS yang luas dan belum memiliki sistem pengamatan dan pencatatan data (Arnold dkk., 1998)

SWAT mensimulasikan proses-proses hidrologi yang dibagi menjadi komponen daratan (pergerakan air, nutrisi, pestisida dan sedimen ke sungai) dan sungai (pergerakan air di saluran ke sungai untuk kemudian menuju outlet DAS)

(Fohrer dkk., 2005; Govender dan Everson, 2005). SWAT menggunakan metode Neraca Air sebagai pendekatan utama dalam memodelkan suatu DAS. Persamaan tersebut adalah (Neitsch dkk., 2002):

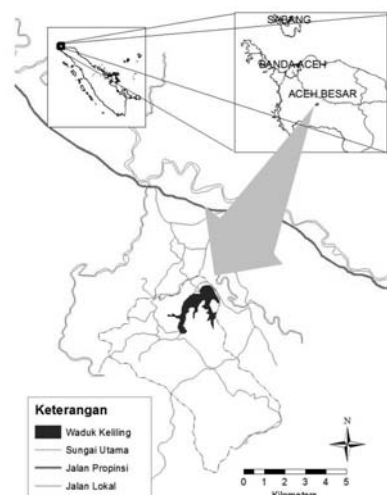
$$SW_t = SW_{(0)} + \sum_{i=1}^t (R_{(t)} - Q_{(t)} - E_{(t)} - W_{(t)} - Q_g(t)) \dots\dots\dots (1)$$

Dimana t adalah waktu, $SW(0)$ dan $SW(t)$ adalah kandungan lengas tanah awal dan pada waktu t , $R(t)$ adalah total presipitasi, $Q_s(t)$ adalah limpasan permukaan, $E(t)$ adalah evapotranspirasi, $W(t)$ adalah perkolasi dan $Q_g(t)$ adalah aliran yang kembali ke sungai.

SWAT membagi DAS ke dalam beberapa sub DAS untuk kemudian setiap subDAS tersebut akan digabungkan menjadi suatu unit respon hidrologis (*Hydrologic Response Units, HRUs*) berdasarkan jenis tanah dan tata guna lahan. Besarnya limpasan permukaan diprediksikan dengan menggunakan metode SCS-Curva Number untuk harian dan Green-Ampt untuk sub harian. Evapotranspirasi potensial diprediksikan dengan menggunakan salah satu dari metode Priestley-Taylor, Penman-Monteith atau Hargreaves. Penelitian ini menggunakan metode Penman-Monteith dengan asumsi metode tersebut memiliki tingkat keakurasian yang lebih baik karena menggunakan parameter klimatologi yang lebih banyak.

Wilayah Penelitian

Secara geografis, DTA Waduk Keliling berada pada 05°19'2" - 05°20'45" Lintang Utara dan 95°21'1" - 95°31'17" Bujur Timur. Secara administratif Waduk Keliling yang terletak di Desa Bak Sukon, Kecamatan Cot Glie, Aceh Besar (Gambar 1) dengan jarak ±35 km dari pusat Kota Banda Aceh. Waduk Keliling mampu menampung ±15.68 juta m³ dengan luas genangan 228 Ha dan daerah tangkapan air seluas 38.20



Gambar 1. Peta Waduk Keliling yang terletak di Desa Bak Sukon, Kecamatan Cot Glie, Kabupaten Aceh Besar

Km². Topografi DTA Waduk Keliling umumnya berada pada kelerengannya agak curam (15 – 25%) dan sangat curam (>40%) dengan ketinggian 0 – 1000 mdpl. Berdasarkan citra satelit, pegunungan/perbukitan dan lereng didominasi oleh hutan dan semak belukar.

Waduk Keuliling berada pada daerah beriklim tropis dengan curah hujan tahunan berkisar 1,200 – 1,900 mm per tahun. Rata-rata curah hujan adalah 126.14 mm per bulan. Hari hujan berkisar antara 105 – 163 hari setiap tahun dengan hari hujan rata-rata adalah 11.53 hari per bulan. Temperatur rata-rata bulanan berkisar 26– 28 °C dan temperatur rata-rata harian adalah 26.92 °C. Penyinaran matahari rata-rata sebesar 52.76%. Kelembapan udara rata-rata bulanan 79.76% dan kecepatan angin rata-rata tahunan 37.77 Knot.

Data

Data dasar yang dibutuhkan Model SWAT terdiri dari data elevasi, penggunaan lahan, karakteristik tanah dan klimatologi. Data elevasi yang digunakan adalah *digital elevasi model* (DEM) yang didownload dari CGIAR-CSI website dengan resolusi spasialnya 90m x 90m. Pada bagian genangan waduk, data DEM tersebut dibandingkan dengan data elevasi waduk hasil perencanaan yang diperoleh dari Dinas Pengairan Aceh. Tutupan lahan untuk wilayah penelitian merupakan hasil interpretasi terhadap citra satelit Landsat dan SPOT 5. Data tersebut juga dibandingkan dengan data tutupan lahan yang diperoleh dari BPDAS Krueng Aceh. Data karakteristik tanah diperoleh dari hasil analisa terhadap sampel tanah yang diambil di beberapa lokasi dalam wilayah penelitian. Total 8 sampel dianalisa sifat fisik dan kimianya sebagaimana ditabulasikan dalam Tabel 1.

Data curah hujan dan klimatologi dikumpulkan dari berbagai sumber selama 20 tahun, merupakan data pencatatan harian yang terdiri dari data curah hujan, suhu udara maksimum, suhu udara minimum, kelembapan relatif dan kecepatan angin. Radiasi matahari diperoleh dengan menggunakan persamaan Hargreaves berikut ini:

$$R_s = K_{Rs} \sqrt{T_{max} - T_{min}} R \dots\dots\dots (2)$$

Dimana R_a adalah radiasi teresterial, T_{max} adalah suhu udara maksimum, T_{min} suhu udara minimum, dan k_{Rs} koefisien koreksi yang didasarkan pada besar atau tidaknya pengaruh pantai atau badan air lainnya terhadap lokasi penelitian. Data-data tersebut kemudian dianalisa untuk mendapatkan beberapa parameter yang akan digunakan dalam Model SWAT. Analisa tersebut dilakukan dengan menggunakan WxGen yang diunduh dari website SWAT (<http://swat.tamu.edu>).

Analisa Kehandalan Model

Model dengan parameter yang paling optimal diuji keahandalannya baik secara visual maupun dengan metode statistic untuk membandingkan hasil simulasi model dengan hasil observasi. Parameter statistik yang digunakan adalah rasio akar rata-rata kuadrat error dan standard deviasi observasi (RSR), koefisien Nash-Sutcliffe (NSE) dan persentase bias (PBIAS).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Model SWAT

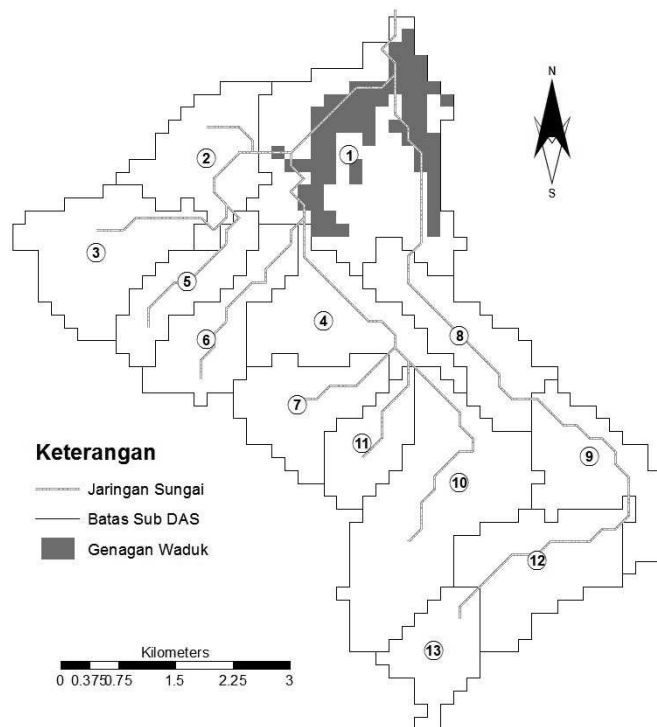
Deleniasi pada titik outlet Waduk Keliling menghasilkan suatu wilayah DTA untuk Waduk Keliling dengan luas 3,448 Ha yang terbagi atas 13 sub DAS dan dikelompokkan ke dalam 76 unit respon hidrologis atau satuan lahan terkecil yang memiliki karakteristik yang sama dari gabungan tata guna lahan, jenis tanah dan kemiringan lahan. Gambar 2 menampilkan informasi spasial sub DAS dan jaringan sungai yang terbentuk dalam proses deleniasi batas minimum pembentukan jaringan sungai adalah 30 Ha berdasarkan data DEM. Luas genangan waduk yang terbentuk seluas 214 Ha dan keseluruhan daerah genangan tersebut berada dalam satu sub DAS, yaitu sub DAS no 1. Luasan wilayah DTA Waduk Keliling berdasarkan jenis tata guna lahan terangkum dalam Tabel 2 berikut.

Tabel 1. Sifat fisik tanah di DTA Waduk Keliling

Kode Lokasi	Fraksi (%)			Tekstur	Berat Jenis gr/cm ³	C Organik	DHL	Permeabilitas	Kadar air tanah	Erodibilitas
	pasir	debu	liat							
1	61	11	28	Lempung liat berpasir	1.06	2.82	0.20	2.43	37.53	0.12
2	32	34	34	Lempung berliat	1.06	1.83	0.20	10.93	37.42	0.10
3	60	15	25	Lempung liat berpasir	1.39	1.57	0.03	1.32	34.04	0.13
4	30	45	25	Lempung	1.10	1.92	0.10	6.15	37.49	0.17
5	53	6	41	Liat berpasir	1.06	1.79	0.06	7.90	38.41	0.12
6	22	41	37	Lempung berliat	1.18	2.16	0.05	7.66	36.31	0.12
7	68	27	5	Lempung berpasir	1.08	1.32	0.06	19.33	30.75	0.10
8	50	22	28	Lempung liat berpasir	0.89	2.70	0.15	22.79	30.32	0.15

Tabel 2. Distribusi jenis dan luas tata guna lahan dalam DTA Waduk Keliling

Jenis Tata Guna lahan	Kode dalam model SWAT	Luasan (Ha)	Persentase
Tubuh Air	WATR	214	6.2
Hutan	FRSE	1,830	53.1
Padang Rumput	RNGE	1,077	31.2
Semak Belukar	RNGB	326	9.5



Gambar 2. Sub DAS dan jaringan sungai yang terbentuk dari proses deleniasi

Analisa Sensitivitas, Kalibrasi dan Kehandalan Model

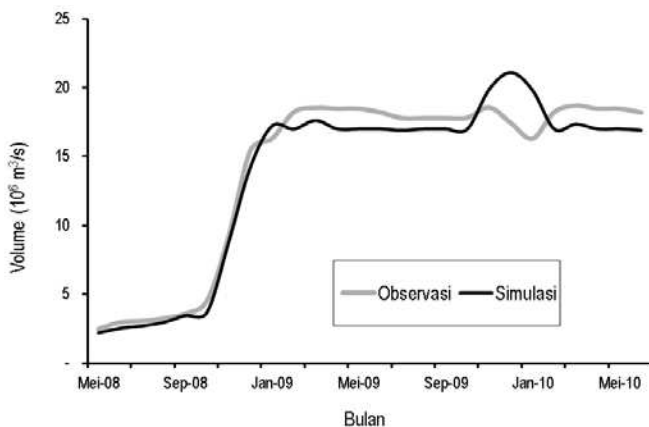
Analisa sensitivitas model dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SWAT-CUP untuk beberapa parameter model yang berpengaruh terhadap debit aliran. Tingkat sensitivitas parameter tersebut kemudian diurutkan dari yang paling sensitif sampai ke yang paling tidak sensitif. Dalam penelitian ini dipilih 10 parameter yang paling sensitif sebagaimana disajikan dalam Tabel 3. Parameter model yang sensitif tersebut kemudian dimodifikasi nilai awalnya dalam proses kalibrasi sehingga diperoleh nilai yang paling optimal berdasarkan indikator kinerja model. Proses kalibrasi model dalam penelitian ini dengan cara manual karena versi ArcSWAT yang digunakan dalam penelitian ini tidak mengintegrasikan fasilitas *auto calibration*. Hasil simulasi model dibandingkan dengan hasil observasi sampai diperoleh parameter-parameter kinerja model yang terbaik. Kalibrasi dilakukan dengan menggunakan data volume waduk baik harian maupun bulanan. Nilai awal dan terbaik untuk setiap parameter model yang memiliki pengaruh yang besar terhadap debit aliran ditabulasikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Daftar 10 model parameter yang paling sensitif beserta deskripsi, nilai awal, dan nilai akhir yang paling optimal.

Ranking	Parameter	Deskripsi	Satuan	Nilai	
				Awal	Akhir
1	GW_DELAY	Masa jeda air berperkolasi ke dalam tanah untuk menuju ke aquifer	Hari	31	2
2	CN2	Nilai curve number	-	default*	+7
3	REVAPMN	Kedalaman minimum lengas tanah untuk beperkolasi ke lapisan air tanah dalam	mm	1	1
4	ALPHA_BF	Faktor resesi aliran dasar	-	0.048	0.1
5	SOL_AWC	Kapasitas air tersedia dalam setiap lapisan tanah	mm	default*	-0.04
6	GW_REVAP	Koefisien penguapan air bawah tanah menuju ke lapisan atas	-	0.02	0.02
7	CH_N2	Koefisien kekasaran permukaan Manning untuk sungai/alur	-	0.035	0.03
8	GWQMN	Batasan minimum air tanah dangkal untuk mengalir menuju sungai	mm	0.0	0.0
9	CH_K2	Konduktifitas hidrolik saluran/sungai	mm/jam	0.0	0.0
10	ESCO	Faktor kompensasi penguapan air tanah	-	0.95	0.95

Keterangan: *merupakan nilai awal yang diberikan oleh model

Gambar 3 menunjukkan perbandingan hasil simulasi dan observasi volume waduk berdasarkan nilai akhir dari 10 parameter terpilih. Dari hasil yang diperoleh terlihat bahwasannya model sangat baik dalam mensimulasi debit bulanan terutama pada periode awal operasional waduk dimana *outflow* waduk pada saat tersebut masih belum ada. Setelah volume tampungan waduk melewati kapasitas normal, kinerja model sedikit mengalami penurunan, hal tersebut disebabkan karena tidak tersedianya informasi mengenai operasional yang seharusnya menjadi input utama simulasi tampungan waduk di Model SWAT.



Gambar 3. Kalibrasi volume Waduk Keliling bulanan periode Mei 2008 – Juni 2010 berdasarkan model parameter terbaik.

Untuk interval waktu harian, kalibrasi model dilakukan ketika elevasi muka air waduk belum mencapai tinggi pelimpah, yaitu mulai dari waktu pertama waduk beroperasi sampai dengan 11 Maret 2009. Hal ini dilakukan untuk meminimalisir ketiadaan informasi operasional waduk harian yang sangat berpengaruh terhadap kondisi tampungan waduk. Nilai observasi yang digunakan adalah besarnya *inflow* yang masuk ke waduk, yang dapat diperoleh dengan persamaan berikut:

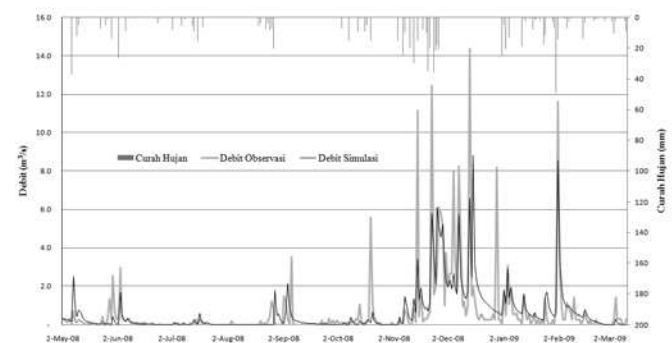
$$Q_{in} = \frac{V_{w(i)} - V_{w(i-1)}}{86,400} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana Q_{in} = debit *inflow* waduk (m^3/s), $V_{w(i)}$ = volume waduk pada hari ke – i (m^3) dan $V_{w(i-1)}$ = volume waduk pada hari ke – $(i-1)$ (m^3). Perbandingan antara debit hasil pengamatan dan hasil simulasi untuk interval waktu harian ditunjukkan pada Gambar 4. Terlihat bahwasannya model masih cukup baik dalam mensimulasikan karakteristik debit *inflow* harian, meskipun secara kuantitatif besarnya debit yang disimulasikan masih cenderung lebih rendah dari hasil pengamatan. Namun walaupun demikian, berdasarkan tingkat keakurasian model yang diusulkan oleh Moriasi dkk. (2007), kinerja model SWAT masih dikategorikan baik dan layak untuk diterapkan untuk memprediksikan volume tampungan

Waduk Keliling sebagaimana disajikan dalam Tabel 4. Kinerja model yang diperoleh dalam penelitian ini masih lebih baik jika dibandingkan dengan beberapa hasil penelitian-penelitian terdahulu dengan luasan daerah tangkapan air yang berkisar antara 40-60 km^2 . Gitau dkk. (2004) menggunakan Model SWAT untuk wilayah tangkapan air seluas 36.8 km^2 di New York mendapatkan nilai NSE bulanan sebesar 0.44. Sementara itu Srivastava dkk. (2006) mendapatkan nilai NSE sebesar 0.54 ketika menggunakan Model SWAT untuk DTA di Pennsylvania seluas 47.6 km^2 .

Tabel 4. Kinerja model SWAT dalam memprediksi volume tampungan waduk bulanan dan debit inflow harian

Interval waktu simulasi	NSE	RSR	PBIAS	Kategori
1. Harian	0.55	0.67	3.46	Baik
2. Bulanan	0.95	0.23	2.97	Sangat Baik



Gambar 4. Perbandingan debit *inflow* harian ke waduk hasil observasi dan simulasi.

Jika diamati dari hubungan antara distribusi curah hujan dan debit *inflow* selama periode pengamatan, terlihat bahwasannya data curah hujan yang diperoleh tidak mampu merepresentasikan kondisi curah hujan yang sebenarnya di daerah penelitian. Hal tersebut terbukti dengan tidak konsistennya hubungan besarnya curah hujan dengan debit yang dihasilkan. Pada beberapa hari diperoleh hasil pengamatan debit yang sangat tinggi sementara curah hujan tidak tercatat, terutama pada periode curah hujan yang tinggi (Desember 2008 – Januari 2009). Kemungkinan utama penyebab tidak konsistennya respon tersebut adalah lokasi pencatatan curah hujan yang berada disekitar genangan waduk menyebabkan tidak tercatatnya kejadian hujan pada daerah hulu wilayah penelitian.

Karakteristik DTA Waduk Keliling berdasarkan parameter-parameter model

Berdasarkan nilai-nilai yang paling optimal dari 10 parameter model yang diamati, sebagian besar nilai akhir

parameter adalah sama dengan nilai awal (*default*) kecuali untuk parameter GW_DELAY, CN2, ALPHA_BF dan SOL_AWC. Tingginya penambahan nilai CN2 menunjukkan bahwa potensi aliran permukaan di DTA Waduk Keliling tinggi. Nilai ini berhubungan erat dengan kapasitas air yang tersedia dalam setiap lapisan tanah, dimana dengan terganggunya kondisi alamiah tutupan lahan sebagai akibat adanya aktifitas manusia menyebabkan penurunan kemampuan tanah untuk menyerap dan menyimpan air sehingga pada saat terjadi hujan maka sebagian besar curah hujan tersebut akan menjadi aliran permukaan. Parameter akhir SOL_AWC menunjukkan rendahnya kapasitas tampungan air dalam tanah. Tingginya nilai ALPHA_BF merupakan suatu indikasi rendahnya kontribusi aliran dasar dalam mempertahankan volume aliran sungai/alur. Sementara itu rendahnya nilai parameter GW_DELAY menunjukkan bahwa pergerakan air dalam profil tanah sangat cepat menuju zona air tanah dangkal, sehingga masa jeda air di zona perakaran tanaman sangat singkat.

Berdasarkan nilai akhir parameter model, terlihat bahwasanya karakteristik hidrologis DTA Waduk Keliling didominasi oleh aliran permukaan dengan kontribusi aliran dasar yang sangat minim. Kenyataan tersebut akan menghasilkan respon hidrologis yang sangat cepat terhadap kejadian hujan yang ditandai dengan tingginya aliran puncak (*peak flow*) dan sisi hidrograf yang turun dengan cepat. Hal tersebut dibuktikan dengan karakteristik aliran sungai yang hanya akan terbentuk pada musim hujan. Kondisi DTA Waduk Keliling mengisyaratkan perlunya pengelolaan yang lebih terarah terutama dalam mempertahankan kondisi alamiah hutan lindung di bahagian hulu yang mulai mengalami perambahan oleh masyarakat sekitar. Penghijauan disekitar daerah genangan waduk yang dapat menjadi alternatif untuk menciptakan zona penyangga terhadap penurunan kualitas air waduk sebagai akibat tingginya potensi aliran permukaan.

KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan daerah tangkapan air Waduk Keliling menggunakan model SWAT. Hasil penelitian ini berhasil menentukan 10 parameter model yang memberikan dampak yang signifikan terhadap debit sungai akibat adanya perubahan pada parameter tersebut. Parameter-parameter itu adalah GW_DELAY, CN2, REVAPMN, ALPHA_BF, SOL_AWC, GW_REVAP, GWQMN, CH_K2 dan ESCO. Berdasarkan hasil analisa kinerja model disimpulkan bahwa model di kategorikan baik untuk mensimulasikan debit *inflow* dengan nilai- nilai NSE 0.77, RSR 0.48 dan PBIAS 13.4. Kinerja ini meningkat apabila digunakan untuk memprediksikan volume tampungan waduk bulanan dengan nilai- nilai NSE 0.77, RSR 0.48 dan

PBIAS 13.4. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa kontribusi utama aliran yang masuk ke Waduk Keliling berasal dari aliran permukaan yang berpotensi membahayakan kualitas air waduk.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Lembaga Penelitian Universitas Syiah Kuala yang telah membiayai penelitian ini melalui skema Penelitian Hibah Bersaing Tahun Anggaran 2013 dengan nomor surat perjanjian 385/UN11/A.01/APBN-P2T/2013.

REFERENSI

- Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S. dan Williams, J.R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment part 1: model development. *Journal of the American Water Resources Association* **34**(1): 73-89.
- Fohrer, N., Haverkamp, S. dan Frede, H.G. (2005). Assessment of the effects of land use patterns on hydrologic landscape functions: development of sustainable land use concepts for low mountain range areas. *Hydrological Processes* **19**: 659-672.
- Gassman, P.W., Reyes, M.R., Green, C.H. dan Arnold, J.G. (2007). The Soil and Water Assessment Tool: Historical development, application and future research directions. *Transactions of the ASABE* **50**(4): 1211-1250.
- Gitau, M. W., Veith, T.L. dan Gburek, W.J. (2004). Farm-level optimization of BMP placement for cost-effective pollution reduction. *Transactions of the ASAE* **47**(6): 1923-1931.
- Govender, M. dan Everson, C.S. (2005). Modelling streamflow from two small South African experimental catchments using the SWAT model. *Hydrological Processes* **19**: 683-692.
- Kalogeropoulos, K., Chalkias, C., Pissias, E. dan Karalis, S. (2011). Application of the SWAT model for the investigation of reservoirs creation. *Advances in the Research of Aquatic Environment* **2**: 71-79.
- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D. dan Veith, T.L. (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE* **50**(3): 885-900.
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams J.R. dan King, K.W. (2002). *Soil and Water Assessment Tools*

Theoretical Documentation: Version 2000 ed. College Station. Texas Water Resources Institute.

- Setegn, S.G., Srinivasan, R. dan Dargahi, B. (2008) Hydrological modelling in the Lake Tana Basin, Ethiopia using SWAT Model. *The Open Hydrology Journal* **2**: 49-62
- Srivastava, P., McNair, J.N. dan Johnson, T.E. (2006). Comparison of process-based and artificial neural network approaches for streamflow modeling in an agricultural watershed. *Journal of the American Water Resources Association* **42**(2): 545-563
- Tanakamaru, H., Kato, T. dan Takara, K. (2004) Water balance analysis and water level simulation of Lake Toba, Indonesia. *Proceedings of the 2nd Asia pacific Association of Hydrology and Water Resources Conference* **2**: 107-115
- Tolson, B.A. dan Shoemaker, C.A. (2007). Cannonsville Reservoir Watershed SWAT2000 model development, calibration and validation. *Journal of Hydrology* **337**: 68-86